

A APLICAÇÃO DOS ENCAIXES JAPONESES NA ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA - uma experimentação

Mariana da Silva Motta (IC) e Célia Regina Moretti Meirelles (Orientadora)

Apoio: PIBIC Mackenzie

RESUMO

O presente trabalho busca o resgate da técnica de encaixes japoneses em madeira por meio da Prototipagem Rápida por Subtração (SRP) com o auxílio de máquinas por Controle Numérico Computadorizadas (CNC). A dificuldade da modelagem artesanal desses encaixes acarretou na sua substituição por outras técnicas de união, tais como, colas, conectores metálicos, parafusos e pregos. Entretanto, o desempenho estrutural e durabilidade dos encaixes em madeira, assim como a sua demanda em ambientes específicos, suscitam o seu resgate. Com o uso de novas tecnologias a sua reprodução, antes possível apenas artesanalmente, pode ser retomada dentro dos mesmos padrões da carpintaria japonesa, porém, em grande escala e respeitando as demandas de precisão industrial. Portanto, para fins de experimentação, foram selecionados, estudados e modelados encaixes apresentados pelo livro “Wood Joints In Classical Japanese Architecture” dos autores Torashichi Sumiyoshi e Gengo Matsui, 1989. A pesquisa documenta as possibilidades de prototipagem e suas dificuldades com o uso de máquinas modelatriz Roland, modelos MDX-540 e MDX-40A, disponibilizadas pelo Laboratório de Prototipagem Rápida da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Mackenzie (FAU – Mackenzie). O experimento foi seguido de uma análise de soluções, que visa embasar trabalhos futuros, além de defender uma reaproximação do arquiteto com a técnica da edificação.

PALAVRAS-CHAVE: Arquitetura japonesa, encaixes em madeira, Prototipagem Rápida por Subtração

ABSTRACT

This work has as objective to rescue the technique of Japanese wood joints through Rapid Prototyping by Subtraction (SRP) with the aid of computerized numerical control machines (CNC). The difficulty of craft modeling these joints resulted in its replacement by other joining techniques such as glue, metal connectors, screws and nails. However, the structural performance and durability of wooden splices, as well as, its demand in specific environments, evoke its rescue. With the use of new technologies, it is possible to reproduce forms that were first handmade, those forms can be now produced in large scale and attending the demands of industrial precision. For experimental purposes, some joints were selected, studied and

modeled; all of them were presented by the book "Wood Joints In Classical Japanese Architecture" from the authors Torashichi Sumiyoshi and Gengo Matsui, 1989. The research documents the prototyping possibilities and difficulties using two CNC machines, models, MDX-540 and MDX-40A, provided by the "Laboratório de Prototipagem Rápida da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Mackenzie (FAU – Mackenzie)". The experiment was followed by an analysis of solutions, which aims to base future works, and also defend the architect rapprochement with the technique of building.

KEYWORDS:Japanese architecture, wood joints, Subtractive Rapid Prototyping

INTRODUÇÃO

A arquitetura japonesa se mostra muito relevante no contexto das construções em madeira, incorporando técnicas construtivas e conceitos diferenciados, como, modulação, flexibilidade de usos e amplos espaços. As edificações são marcadas por sua durabilidade, grandes balaios estruturais, que se projetam além das paredes, possibilitam varandas que protegem a construção, enquanto os espaços internos são marcados pela fluidez consequente do uso de divisórias móveis sobre um plano modulado, que permite a criação de ambientes modificáveis, (NUTE, 2000). Outro aspecto evidenciado nas construções japonesas são as ligações entre os componentes da edificação que acontecem por diferentes encaixes, herança de outros povos asiáticos que por séculos dominaram a ilha, em especial povos chineses no início do século X d.C. Entretanto, essas técnicas de ligações foram modificadas por seus carpinteiros ao longo do tempo, adaptando-se à cultura local. Esses encaixes foram documentados de forma muito organizada por meio de desenhos de mestres carpinteiros, que o fizeram contribuindo para gerações futuras. Contudo, essas soluções foram esquecidas por suas dificuldades de manufatura e pelos padrões industriais demandados de precisão e reprodução, (TURNER, 1999).

Atualmente existem inúmeras formas de ligação entre elementos estruturais de madeira, como conectores metálicos, encaixes, colas, pregos, parafusos e cordas. A técnica construtiva de encaixes com o material foi desenvolvida com ênfase no Japão por artesões responsáveis em unir peças estruturais em uma edificação chamados de “master jointers”, os carpinteiros. Estes tinham um domínio técnico e sensibilidade para entender a grande resistência da madeira. Conheciam sua cor e umidade, assim como suas características físicas e mecânicas, como, tração, torção e flexão sofridas por cada elemento, (SUMIYOSHI; MATSUI 1989).

O atual debate sobre sustentabilidade e a durabilidade como uma opção de redução do uso de recursos, justificam a retomada da técnica por encaixes em madeira. Seu desempenho, assim como sua demanda em ambientes específicos como indústrias químicas, também suscitam o seu resgate. Edifícios como o Tamedia em Zurique, Suíça, projetado pelo arquiteto Shigeru Ban, apresentam a madeira como único material estrutural. Essa retomada se faz possível com o desenvolvimento e uso da fabricação digital.

Dessa forma, a presente pesquisa avalia as possibilidades do resgate dessas técnicas japonesas em encaixe de madeira por meio do uso de Máquinas de Controle Numérico Computadorizado (CNC). Experimenta-se reproduzir encaixes apresentados por SUMIYOSHI; MATSUI 1989, apontando as dificuldades e limitações encontrados durante todo o processo de produção dos modelos em escala reduzida.

O potencial madeireiro de exploração no Brasil e a importância global do material como fonte natural renovável trazem relevância ao trabalho, assim, como a possibilidade de produção em série por meio da modelagem por subtração por máquinas por Controle Numérico Computadorizadas (CNC).

A fabricação digital por meio da tecnologia de Controle Numérico Computadorizado (CNC) permite uma estratégia de produção que incorpora as preferências individuais na produção da arquitetura chamada de “customização em massa”. Pesquisas antecedentes realizadas por diversos autores assim como SASS (2008) sobre fabricação digital têm renovado o interesse a respeito dos diversos meios de representação e simulação em arquitetura, (LIMA, MEIRELLES, 2012). Esse assunto vem também crescendo dentro da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie, inclusive com a implantação do Laboratório de Prototipagem Rápida, que fez possível essa experimentação.

REFERENCIAL TEÓRICO

As construções em madeira no Japão apresentaram uma significativa mudança de paradigma com o estabelecimento do budismo no país. Como consequente herança de outros povos asiáticos que habitaram a ilha, teve importante inspiração vinda da arquitetura chinesa, que iniciou sua exploração do material para a construção civil no início da dinastia Sung (960 – 1270 d.C.). Acreditava-se que, assim como o homem, cada árvore possuía uma alma materializada superficialmente em beleza. Dessa forma, para a cultura japonesa, cada pedaço de madeira guardava parte de um espírito e o contato físico com o material não tratado, dentro desse saber, propiciava a experiência com diferentes texturas e características específicas de cada “kodama”, ou espírito da árvore, (ZWEGER, 2012).

Segundo Seike (1977), o solo japonês fornece poucos materiais adequados para a construção em alvenaria, em alternativa, as fartas florestas providas de madeira com ótima resistência física e mecânica devido ao solo vulcânico, fizeram da madeira a matéria prima ideal para a arquitetura do país. Entretanto, reforça em concordância à Zwerger (2012) que a crença no “kodoma” desempenha também um forte papel na cultura local.

A arquitetura japonesa chegou enfim ao seu amadurecimento nos anos da Era Edo (1603 – 1868 d.C.). Cabendo ressaltar que durante todo o processo de evolução, desde as primeiras influências externas no século X até o século XVII o contexto ambiental e cultural estiveram sempre integrados com as formas, materiais e meios de construção, tornando-se impossível separá-los, (LOCHER, 2010).

Segundo Zweger (2012), a ligação entre mestre artesão e a madeira em si começava dentro da floresta. O local e a aparência da madeira eram decisivos para a sua futura utilização. Enquanto certos mestres selecionavam a madeira e sua utilização dentro da construção, outros artesãos especializaram-se na tarefa de desenvolver a ligação entre elementos estruturais, dessa forma, dedicaram-se ao estudo de encaixes e conexões. No detalhe das ligações certas formas também pareciam estar predestinadas para certas aplicações, (SUMIYOSHI; MATSUI 1989).

A sabedoria oriental construída em séculos pode ser de grande importância para a discussão atual de sustentabilidade. Para John et al (2016) aumentar a durabilidade é uma opção para desvincular o consumo de desenvolvimento e reduzir as cargas ambientais, e essa depende muito mais de conhecimento do que em recursos. Aumentando-se a durabilidade reduz-se também a quantidade de resíduos de construção e demolição.

Figura 1 – Templo Dourado Kinkaku-Ji, (Kyoto, Japão)



Fonte: Felipe Beto

O Templo Dourado Kinkaku-Ji, primeiramente moradia e mais tarde um templo zen budista, foi construído em Kyoto no Japão em 1397 durante o período Muromachi e encontra-se ainda hoje perfeitamente conservado. Construído em madeira, deve a sua preservação ao reconhecimento da importância dos balanços e varandas protegendo a estrutura principal e a elevação do primeiro piso, como indicados pela Figura 1.

Cientes da importância da sabedoria da construção em madeira aplicada em templos e pagodas, em especial a domínio das ligações por encaixes japoneses em madeira para a arquitetura, Sumiyoshi e Matsui (1989) com o objetivo de transferir essa sabedoria e observar a possibilidade do uso dos encaixes na arquitetura contemporânea, os representaram por meio de desenhos e detalhes em sua obra “Wood joints in classical japanese architecture”. Como defendido por Giedon (1992), o arquiteto do futuro – se quiser voltar ao topo novamente

– será forçado pelos eventos a se aproximar mais uma vez da produção da edificação, reaproximando-se do conhecimento da técnica.

Indicado por Zweger (2012), todas as propriedades da madeira são interligadas. Elas interagem entre si, ou mesmo, dependem uma da outra. Dessa forma, suas propriedades mecânicas devem ser consideradas e visualizadas, como fizeram os aprendizes orientais em seu caminho até mestres. Atualmente, é raro que a localização da árvore influencie em sua aplicação futura. Entretanto, Zweger (2012) aponta que é precisamente esse aspecto que pode definir a qualidade da construção. Árvores isoladas (localizadas no hemisfério norte), por exemplo, devem resistir constantemente ao vento e mudanças de temperatura e umidade. Dessa forma, seu cerne é disposto não no centro de ser cerne, mas na direção norte, resultando em densidades diferentes em seu eixo norte-sul. Após seco o tronco encolhe mais na face sul do que na densa parte norte. O conhecimento dessas características permitia aos carpinteiros explorar a madeira em todo o seu potencial estrutural, por exemplo, construindo estruturas pré-tensionadas.

A industrialização do Japão teve início com Era Meiji (1867 – 1902 d.C.), a busca por conhecimento em outras parte do mundo foi a base de fortalecimento do domínio imperial. O governo japonês patrocinou intercâmbios e mão de obra estrangeira com o objetivo de atingir o fortalecimento econômico, (TANG, 2009).

A abertura para o maior contato entre Ocidente e Oriente no século XIX caracterizou o período chamado de japonismo, influenciando artistas e arquitetos modernos ocidentais como Frank Lloyd Wright, (MARTIGNAGO, 2014). Nas construções japonesas os tatames atuam com intenção estética e são dispostos em ritmo e proporções moduladas, compondo espaços abertos permitindo mudanças de uso ao longo do tempo. A arquitetura de Frank Lloyd Wright tratou, assim, os planos de forma semelhante. Segundo Kevin Nute (2000) os desenhos destes nos projetos do arquiteto objetivam uma agradável composição estética, quase que independentemente de suas implicações práticas. “Há mais beleza no desenho de um plano do que em qualquer de suas últimas consequências. Por si só este terá ritmos, massas e proporções de uma boa decoração...” (WRIGHT, 1963 apud NUTE, 2000).

Em Locher (2010) discute-se o distanciamento da contemporaneidade em relação ao uso do material e sua aplicação estrutural na tradicional arquitetura oriental. Para Kengo Kuma (2010 apud Locher, 2010) a arquitetura contemporânea é dominada pela cultura do ornamento,

É um pesar que a “cultura do ornamento” domine nos dias atuais. A madeira, por exemplo, é usada meramente como um material ornamental, muitas vezes como finos acabamentos para estruturas de concreto ou aço. E essa “pele” é comumente utilizada para um efeito “natural”. Já para um efeito de autoridade e riqueza, aplica-se um fino acabamento de pedra. Já

acabamentos com alumínio e vidro são utilizados com o objetivo de efeito tecnológico. A estrutura por si só é completamente ignorada. Tornou-se uma era na qual os altos preços de venda são baseados na manipulação dessa “pele”. O capitalismo global promoveu a “era da pele”.

Diferentemente da “era do ornamento” caracterizada por Kuma, a tradição contínua do uso da madeira na construção civil japonesa a partir do século VII d.C. buscava principalmente o respeito aos bens naturais ensinado pela filosofia budista. (LOCHER, 2010)

A criação e desenvolvimento de novas tecnologias, mais especificamente ferramentas elétricas de alta velocidade e precisão, começam a revolucionar as técnicas de encaixe, antes o que era executado apenas por artesãos especializados, passa a ser acessível aos operadores dessas máquinas. A indústria também começou a fazer uso intensivo de máquinas de corte, passando inclusive de máquinas manuais para as controladas de forma computadorizada, (TURNER, 1999).

Trabalhos anteriores como “Habitação em madeira: sistemas construtivos aliados a alta tecnologia” de Lima, Meirelles (2012) exploram o corte a laser por máquinas CNC no plano bidimensional. Após apresentar e discutir o material de autores como “Synthesis of design production with integrated digital fabrication” de Sass (2006), experimenta a modelagem de componentes estruturais. Por meio da produção de três modelos construtivos habitacionais a pesquisa confirma a eficácia do uso da prototipagem rápida para produção de peças estruturais 2D.

No contexto dos encaixes estruturais na construção civil, como enfatiza Turner (1999), quanto mais complexidade é demandada para a execução do encaixe, mais facilmente essa técnica será evitada por motivos óbvios de custo e eficiência. Além disso, os padrões industriais de precisão e reprodução são muito exigentes e raramente toleram variações associadas ao trabalho manual e artesanato. Entretanto, com o surgimento e introdução das máquinas de Controle Numérico Computadorizadas (CNC) na indústria civil a produção e utilização das conexões em madeira tornaram-se possíveis, como exemplo do edifício Tamedia em Zurique, Suíça, do arquiteto japonês Shigeru Ban, construído com peças estruturais exclusivamente de madeira.

Figura 2 – Edifício Tamedia, projeto Shigeru Ban Architects (Zurique, Suíça). Foto noturna externa do edifício, assim como corredor interno com ênfase para a estrutura em madeira. Detalhe dos encaixes utilizados e sua montagem.



Fonte: Fotografias de autoria de Didier Boy de la Tour e detalhes, todos retirados de <http://www.archdaily.com.br/br/01-181822/premio-pritzker-2014-edificio-comercial-tamedia-slash-shigeru-ban-architects> último acesso em 18 de junho de 2016

No Brasil a madeira têm também grande importância econômica por ser um material que dispõe de um expressivo potencial a ser explorado, devido às grandes reservas florestais existentes no país. A madeira é fonte natural renovável e contribui diretamente com a diminuição do dióxido de carbono emitido, entretanto, seu reconhecimento foi tardio. Apenas com o início da discussão sobre sustentabilidade com a 2ª Conferência Mundial para o Desenvolvimento e Meio Ambiente- Rio'92 e do Protocolo de Kyoto no ano de 1997, as características do material renovável foram enfatizadas, (QUEIJO, 2006).

METODOLOGIA

A primeira etapa metodológica, como já estipulado no projeto de pesquisa, constituiu em levantamentos de dados e referências bibliográficas para a execução da pesquisa, buscou-se livros, artigos, web sites, teses e trabalhos científicos da literatura nacional e internacional.

Nesta etapa buscou-se referências que adicionassem no conhecimento sobre a arquitetura japonesa, assim como os métodos de encaixes em madeira. Em paralelo, autores que demonstrassem a importância da madeira na construção civil, suas vantagens estruturais e também sua presença e importância na economia e arquitetura brasileira.

Como a pesquisa propõe o resgate da técnica japonesa dos encaixes por meio de máquinas de Controle Número Computadorizado (CNC) procurou-se também por referências que ampliassem o conhecimento sobre essa tecnologia e experimentações já realizadas, como a “Wood machinable joint” de Turner (1999), “A prototipagem rápida no processo de produção de maquetes de arquitetura” de Celani; Bertho (2007).

Na segunda etapa foram filtradas as referências e conceitos essenciais para a realização do trabalho assim como o entendimento da contextualização e mapeamento do contexto histórico japonês.

A terceira etapa foi composta pelo estudo realização do modelo tridimensional do encaixe Triple Plug apresentado pelo livro “Wood Joints In Classical Japanese Architecture” dos autores Torashichi Sumiyoshi e Gengo Matsui, 1989. Que ocorreu juntamente com a quarta etapa de modelagem física da conexão, primeiramente em isopor e finalmente em madeira. O estudo do Triple Plug serviu como base para a realização física posterior do encaixe Double Plug. Para essas etapas usou-se o programa Sketchup e as máquinas disponibilizadas pelo Laboratório de Prototipagem Rápida da Universidade Mackenzie: Roland modelo MDX-40A e Roland modelo MDX-540.

A quinta etapa constituiu-se na análise dos modelos físicos realizados, bem como a análise dos resultados e das dificuldades encontradas durante o processo de produção dos encaixes. Nessa etapa, também, com um breve estudo sobre os encaixes em madeira utilizados pelo arquiteto japonês Shigeru Ban em seu edifício comercial Tamedia em Zurique, foi possível verificar o uso de simplificações nas formas dos encaixes de maneira similar às utilizadas pela presente experimentação.

RESULTADO E ANÁLISE

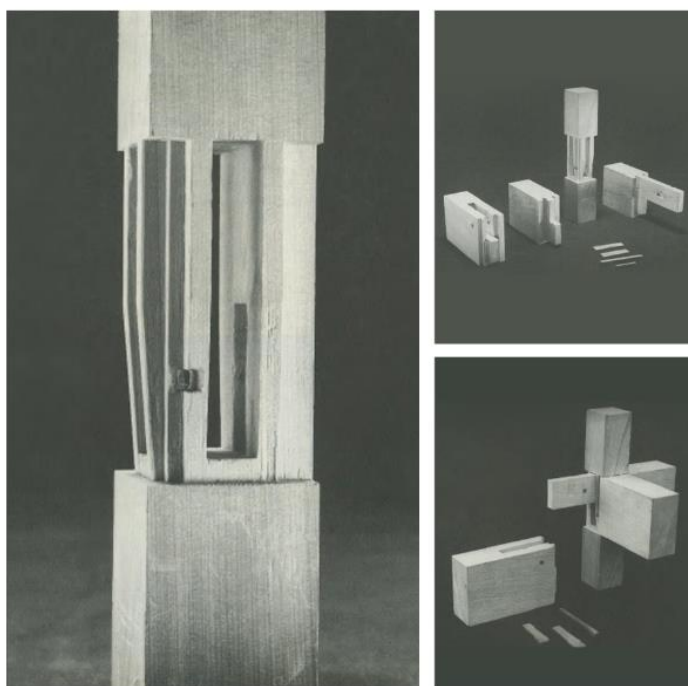
Foi proposta, para fins de experimentação, uma metodologia de análise das possibilidades de prototipagem por subtração utilizando as máquinas disponibilizadas pelo Laboratório de Prototipagem Rápida da Universidade Mackenzie: Roland modelo MDX-40A e Roland modelo MDX-540.

Esta metodologia como apresentada, entretanto, não limita-se aos equipamentos e softwares utilizados na presente pesquisa.

MODELOS FÍSICOS

O primeiro passo para a modelagem se inicia com o levantamento detalhado das medidas da peça a ser produzida. Para esta primeira experimentação de base foi selecionada para estudo a ligação tradicional japonesa entre pilar e vigas, chamada “Triple Plug” (Figura 3), apresentada na página 62 do livro “Wood Joints in Classical Japanese Architecture” escrito por Torashichi Sumiyoshi e Gengo Matsui em 1989.

Figura 3 – Encaixe selecionado para estudo, “Triple Plug”.



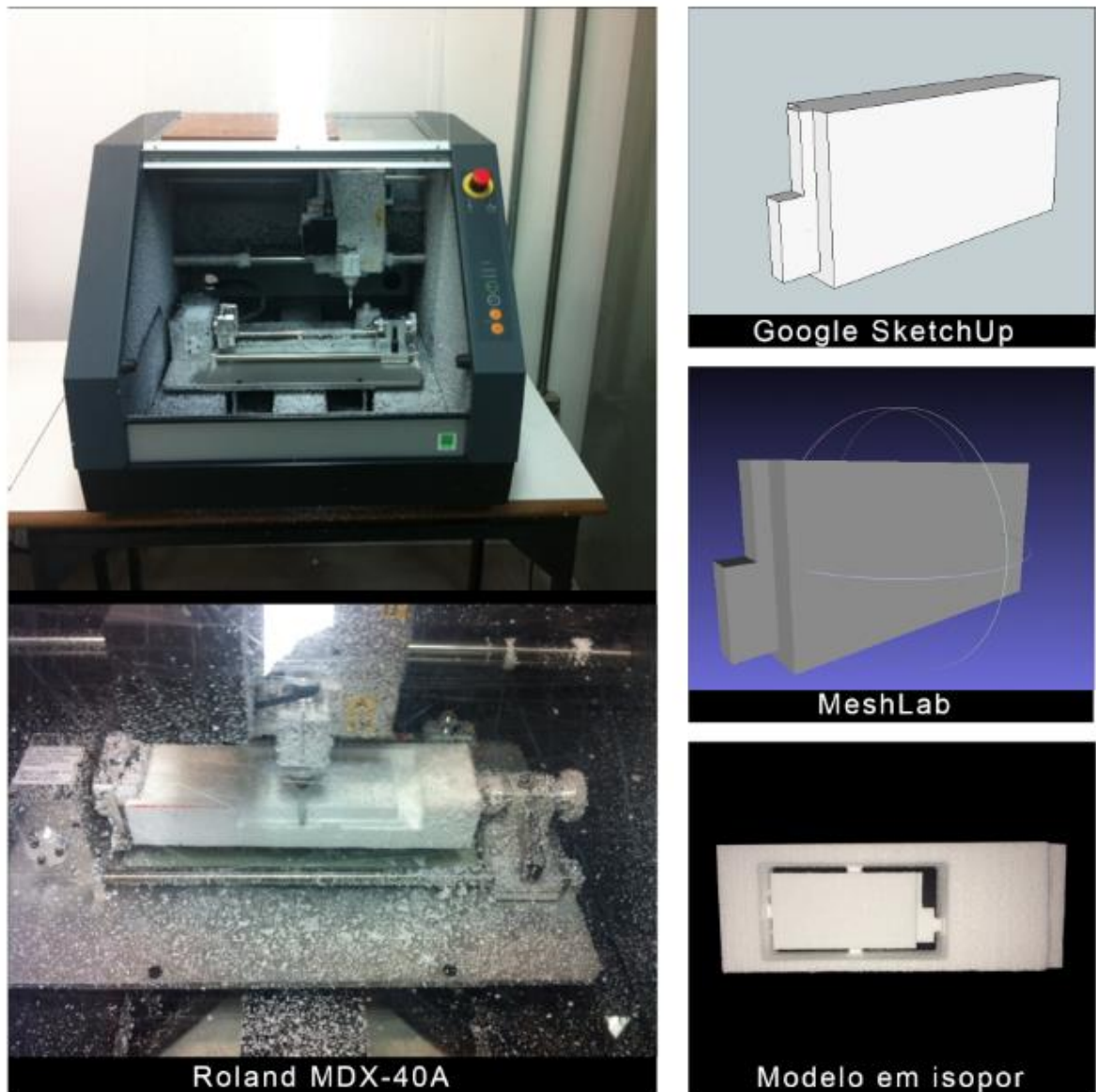
Fonte: Torashichi Sumiyoshi e Gengo Matsui (1989) página 62

Após o levantamento de todas as medidas do encaixe, foi realizado o modelo tridimensional no software Google SketchUp (Figura 4, Google Sketchup). Na sequência para a modelagem na máquina de prototipagem rápida, foi exportado o arquivo na opção “Collada” salvando o modelo com a extensão DAE.

Este modelo DAE, ainda não legível pela modelatriz, foi convertido para a extensão STL solicitada (Figura 4, MeshLab). Durante esta análise foi usado o conversor Meshlab disponível gratuitamente para sistemas Windows e MacOSX.

Abaixo apresentam-se indicadas todas as etapas de modelagem virtual e física discutidas,

Figura 4 - Etapas do processo de modelagem virtual e física. São indicadas as interfaces do software de modelagem virtual Google SketchUp e do conversor Meshlab, assim como a máquina modelatriz utilizada "Roland MDX-40A" e uma das peças finais em isopor.



Fonte: autoria da aluna

PROTOTIPAGEM POR SUBTRAÇÃO

Obtido o modelo STL dá-se início ao processo da prototipagem rápida. Existe uma grande gama de maquinário no mercado, mas como já dito, para essa pesquisa foram utilizadas as máquinas disponibilizadas pelo laboratório da FAU-Mackenzie.

As duas máquinas modeladoras disponibilizadas utilizam-se da tecnologia Prototipagem Rápida por Subtração (SRP), de modo oposto à prototipagem rápida por adição, também chamada de “impressão 3D”. São elas, Roland modelo MDX-40A e Roland modelo MDX-540. Os dois modelos tem como peça opcional o quarto eixo rotativo, que permite trabalhar no objeto a 360°, rotacionando-o automaticamente ao término da ação em cada face. Durante o período da experimentação, o Laboratório de Prototipagem da FAU-Mackenzie disponibilizou o modelo MDX-40A com o quarto eixo opcional.

Dessa forma, foi possível realizar a experiência com a presença e ausência do eixo rotacional. Logo após a primeira tentativa usando o modelo MDX-540 (sem o eixo rotativo) notou-se que a prototipagem do nó escolhido, Triple Plug, é inviável na ausência do eixo opcional. Todas as quatro peças que compõem o encaixe apresentam mais de uma face trabalhada, dessa forma, sem o eixo rotacional torna-se extremamente difícil e trabalhoso atingir a precisão esperada. Como, nessa opção, a rotação deve ser feita manualmente é difícil manter o centro da peça.

Após a tentativa, portanto, passou-se a usar o modelo MDX-40A (com o eixo rotativo). Como essa máquina é menor, a escala do modelo teve que ser igualmente diminuída. As três peças, então, foram escalonadas para não ultrapassar as medidas máximas, 30.6mm x 60.8mm x 173mm. Proporcionalmente, as peças atingiram as medidas finais, 30mm x 60mm x 130mm. Entretanto, como a menor broca utilizada pela máquina tem 6mm de diâmetro, as ranhuras do encaixe não foram diminuídas proporcionalmente, mas para a medida mínima de 6mm.

Com o auxílio do eixo rotacional, as quatro faces da peça foram trabalhadas. Na peça 4 indicada pela Figura 5, nota-se três perfurações ortogonais em três diferentes faces possíveis apenas com o auxílio do quarto eixo opcional.

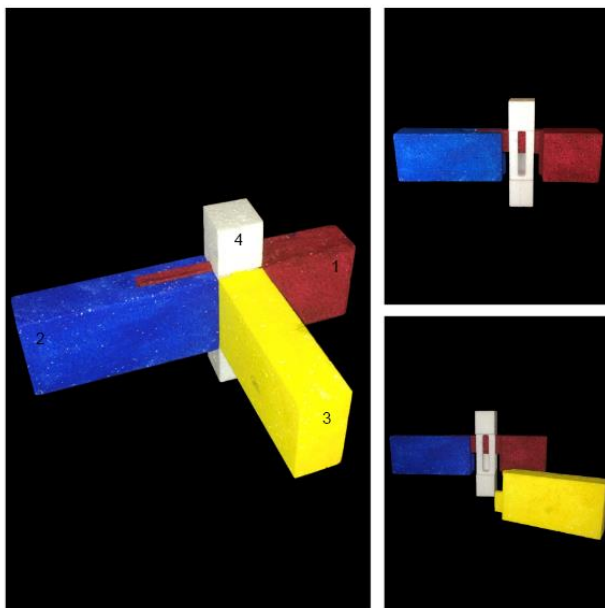
Figura 5 – Peça central (peça 4) apresenta três faces trabalhadas com perfurações ortogonais, a rotação foi possível apenas com o auxílio do quarto eixo opcional.



Fonte: autoria da aluna

A modelatriz utilizada trabalha com a sua ferramenta em um único eixo, dessa forma, as ranhuras diagonais como indicadas pelo livro “Wood Joints in Classical Japanese Architecture” foram simplificadas. O modelo final, portanto, apresenta ranhuras de 6mm perfuradas em um eixo ortogonal.

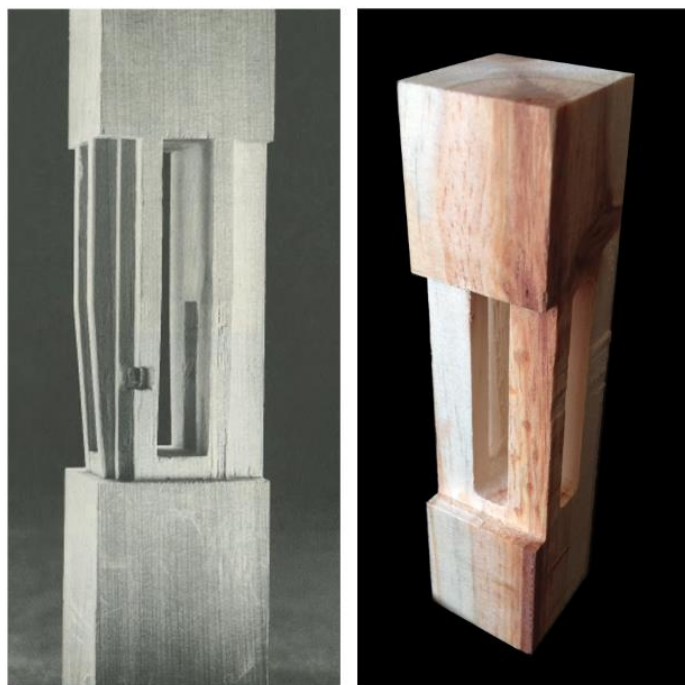
Figura 6 – Modelo Triple Plug inicial em isopor



Fonte: autoria da aluna

O processo foi de constante experimentação e aprendizagem, devido aos limites dos equipamentos existentes. Neste caso, aprendeu-se que o limite de altura de movimento do cunho da máquina (inferior a 30mm) impossibilitaria o trabalho das quatro faces das peças 1, 2 e 3 (Figura 6), devido as medidas 30mm e 60mm. Na tentativa de trabalhar as quatro faces, a broca “arranhou” a peça durante a rotação. Devido a essa impossibilidade o modelo foi novamente simplificado e algumas de suas ranhuras iniciais foram retiradas em relação ao desenho inicial (Figura 7).

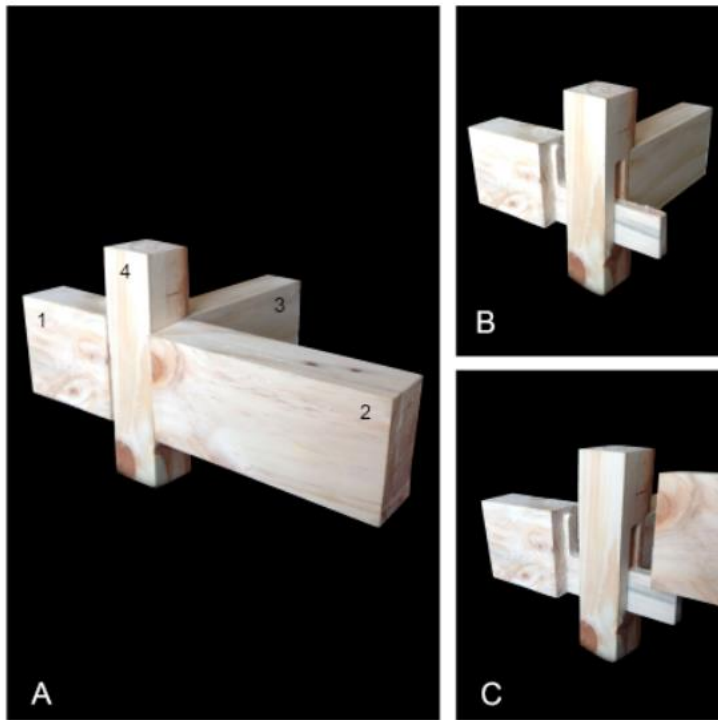
Figura 7 – Ranhuras do modelo final apresentam-se simplificadas em relação ao encaixe apresentado pela obra de Torashichi Sumiyoshi e Gengo Matsui (1989)



Fontes: imagem do encaixe Triple Plug Torashichi Sumiyoshi e Gengo Matsui (1989) página 62 e modelo em madeira de autoria da aluna

Como a peça 4 apresenta a seção 30mm x 30mm, foi a única peça trabalhada pela máquina em suas 4 faces.

Figura 8 - modelo Triple Plug em madeira



Fonte: autoria da aluna

Na experimentação final a viga indicada na Figura 8A com o número 1 (um) é inserida primeiro dentro do pilar indicado pelo número 4 (quatro), como mostrada na Figura 8B. A segunda peça a ser encaixada é a viga indicada pelo número 3 (três), esta trava o conjunto na perpendicular. A terceira viga a ser encaixada é a peça número 2 (dois), que é travada por cavilhas não realizadas nessa pesquisa.

O processo de modelagem física experimental, assim como a referência da patente de Turner (1993) foram importantes para o entendimento que o resgate dos encaixes em escala industrial fazendo o uso de máquinas CNC (Controle Numérico Computadorizado) é possível, mas com a sua simplificação. Verificou-se que as máquinas utilizadas MDX-540 4 e MDX-40A apresentam uma grande precisão, mas limitações de movimento, assim, não atingem todas as formas modeladas artesanalmente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentado procurou seguir todas as etapas propostas de estudo do contexto, encaixes, modelagem tridimensional e modelagem física apontando situações e adaptações necessárias para a realização dos nós nas máquinas modelatrizes disponíveis.

O estudo do contexto do nascimento e produção dos encaixes tradicionais japoneses foram imprescindíveis para o reconhecimento de sua qualidade estrutural. O detalhamento

atingido por cada nó foi exposto durante a modelagem tridimensional, cada peça apresentou medidas mutáveis correlacionadas, assim como medidas mínimas que foram respeitadas apesar das modificações demandadas pelo processo.

Apresentou-se por meio do processo de modelagem física experimental e pela referência da patente de Turner (1993) a possibilidade do resgate dos encaixes por meio das novas tecnologias, entretanto, com simplificações formais.

Procurou-se documentar por meio de fotos e anotações todas as etapas e dificuldades encontradas nas tentativas de modelagem para que a evolução das formas pudessem ser avaliadas.

O estudo do edifício Tamedia reforçou a proposta de simplificação dos encaixes para fins de uso em edifícios contemporâneos. O edifício que utiliza exclusivamente encaixes de madeira para composição da estrutura, apresenta nós simplificados que podem ser trabalhados ortogonalmente em apenas duas faces, diferente dos apresentados pelo livro “Wood Joints in Classical Japanese Architecture”, que demandam perfurações diagonais e são comumente trabalhados em suas quatro faces.

A presente pesquisa objetivou contribuir de forma substancial para o meio científico, percebeu-se que apesar de todos os estudos já realizados, este é apenas o início de uma série de discussões que devem ser realizadas para o resgate das técnicas de encaixe em madeira na construção civil, para que essa técnica seja cada vez mais aprimorada e possível em escala industrial. Para trabalhos futuros recomenda-se a produção de novas peças e testes com carregamento.

REFERÊNCIAS

ALVES, Taís de Moraes. **Madeira na arquitetura moderna brasileira**. Monografia de Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2014. Disponível em: <https://issuu.com/taisdemoraes/docs/madeira_na_arquitetura_moderna_bras> Último acesso em 21 abril 2016.

BLASER, Werner. **Structure und Gestalt in Japan**. Zürich: Verlag für Architektur, 1963.

CELANI, Gabriela; BERTHO, Beatriz C. **A prototipagem rápida no processo de produção de maquetes de arquitetura**. Anais do Graphica, Curitiba, 2007.

FREEMAN, Michael. **Espacios Japoneses. Soluciones para proyectos reducidos**. Madri: Ed. Gamma, 2005.

HERRES, Uli Matthias. **Craftsmanship in architecture**. Portugal: Revista Lusófona de Arquitectura e Educação, N11, 2014.

HERZOG, Thomas et al. **Timber construction manual**. Lausanne: Birkhäuser, 2004.

LOCHER, Mira. **Tradicional Japanese architecture: an exploration os elements and forms**. North Claredon: Tuttle Publishing, 2010.

MARTIGNAGO, Marianna. **Frank Lloyd Wright: influência japonesa**. Disponível em: <<https://pavilhaodebarcelona.wordpress.com/2014/06/19/frank-lloyd-wright-influencia-japonesa/>>. Último acesso em 14 abril 2016.

NUTE, Kevin. **Frank Lloyd Wright and Japan: the role of the tradicional japanese art and architecture in the work of Frank Lloyd Wright**. London: Routledge, 2000.

NUTE, Kevin. **Frank Lloyd Wright and japanese architecture: a study in inspiration**. Oxford: Journal of Design History, Vol07, N03, 1994.

PUPO, Regiane T. **Inserção da prototipagem e fabricação digitais no processo de projeto: um novo desafio para o ensino de arquitetura**. Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Campinas, Campinas, 2008.

QUEIJO, Camila. **Arquitetura sustentável em madeira: aplicações e técnicas construtivas**. PIBIC, Iniciação Científica, MackPesquisa. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Prebiteriana Mackenzie, São Paulo, 2006.

SASS, Lawrence. **Synthesis of design production with integrated digital fabrication**. Department of Architecture, Massachusetts Institute of Technology, United States of America, 2006.

SCHNEIDER, R.; ARIMA, E.; VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P. S. Jr. **Amazônia Sustentável: limitantes e oportunidades para o desenvolvimento rural**. Brasília: Banco Mundial; Belém: Imazon, 2000.

SEIKE, Kiyosi. **The art of japanese joinery**. Nova Iorque: Weatherhill, 1977.

SUMIYOSHI, Torashichi; MATSUI, Gengo. **Wood joints in classical japanese architecture**. Japão: Kajima Institute Publishing Co., Ltd., 1989.

TANG, John P. **Technological leadership and late development: evidence from Meiji Japan, 1868-1912**. Columbia University in New York: Working Paper Series, N278, Feb.2009.

TURNER, Allan William. **Wood machineable joint**. United States Patent, 1999. Patent Number: 5 899 251

VERÍSSIMO, Adalberto. **Sobre o uso sustentável da madeira**. In: I Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável, Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, 2008.

ZWERGER, Klaus. **Wood and wood joints: building traditions of Europe, Japan and China**. Basel: Birkhäuser, 2012.

CONTATOS: marianamotta@me.com e morettimeirelles@gmail.com